

DESCRIPTIONS VIBRATIONNELLES DE  $^{193}\text{Au}$  ET  $^{195}\text{Au}$ 

CH. VIEU et J. S. DIONISIO

Laboratoire S. Rosenblum, CSNSM du CNRS, 91406 Campus Orsay, France

**Résumé.** — Vingt-deux *niveaux analogues* de  $^{193}\text{Au}$  et  $^{195}\text{Au}$  sont décrits de façon satisfaisante par le modèle de Kisslinger-Sorensen et, avec plus de précision, par le modèle d'Alaga. L'accord entre les spectres de niveaux expérimentaux et les spectres théoriques prévus par ces modèles vibrationnels à couplage intermédiaire est meilleur que dans le modèle particule-rotor asymétrique développé par Meyer-ter-Vehn.

**Abstract.** — Twenty two  $^{193}\text{Au}$  and  $^{195}\text{Au}$  experimental *analogue levels* are described satisfactorily by the Kisslinger-Sorensen model and more accurately by the Alaga model. The agreement between the experimental and the theoretical level spectra predicted by these intermediate coupling vibrational models is better than with the particle-asymmetric rotor model developed by Meyer-ter-Vehn.

**1. Introduction.** — Les premiers niveaux des isotopes d'or de nombre de masse impair ont été décrits théoriquement dans le cadre de modèles vibrationnels à couplage faible ou intermédiaire. En couplage faible, le modèle à excitation du cœur [1, 2] ne décrit pas de façon satisfaisante les propriétés électromagnétiques des niveaux d'or 193 et 195 [3]. Dans le présent travail, les nouveaux résultats expérimentaux obtenus sur ces deux isotopes [4, 5, 6] sont analysés dans le cadre des modèles à couplage intermédiaire de Kisslinger-Sorensen [5, 6, 7] et d'Alaga [8, 9].

**2. Méthodes et résultats expérimentaux.** — Les sources de mercure 193 et 195, isotopiquement pures et de haute activité (dimensions  $1 \times 20 \text{ mm}^2$ , activité 3 mCi), ont été utilisées :

— En spectrométrie  $\beta$  directe avec un spectromètre  $\pi\sqrt{2}$  à double focalisation (étude des électrons de conversion interne d'énergie comprise entre 10 et 1 600 keV ; résolution  $\Delta p/p = 1 \times 10^{-3}$ ), un détecteur Si(Li) (mise en évidence des raies de conversion interne de faible intensité à moyenne et haute énergie ; largeur moyenne  $\Delta E = 1,8 \text{ keV}$ ) et un spectromètre Gerholm (étude des spectres de positons ; résolution  $\Delta p/p = 2 \times 10^{-2}$ ).

— En spectrométrie  $\gamma$  directe et en coïncidences  $\gamma\text{-}\gamma$  multidimensionnelles avec des détecteurs au germanium (étude des transitions  $\gamma$  d'énergie comprise entre 80 et 2 200 keV ; largeur moyenne  $\Delta E = 2,2 \text{ keV}$  ; spectres  $\gamma\text{-}\gamma$  multidimensionnels de  $2\,048 \times 1\,024$  canaux).

A partir de ces mesures, un schéma de niveaux très complexe a été établi pour l'or 193 (74 niveaux se désexcitant par 212 transitions [5]). Le schéma de niveaux de l'or 195 est plus simple (32 niveaux se désexcitant par 88 transitions [4]) à cause de la valeur

plus faible de l'énergie totale de désintégration du mercure 195 :  $Q(^{195}\text{Hg} \rightarrow ^{195}\text{Au}) = 1\,450 \text{ keV}$  ;  $Q(^{193}\text{Hg} \rightarrow ^{193}\text{Au}) = 2\,534 \pm 15 \text{ keV}$ .

**3. Niveaux analogues et leur interprétation.** — La comparaison détaillée des schémas de niveaux de l'or 193 et 195 met en évidence l'existence de 22 *niveaux analogues* (Fig. 1). Dans ces isotopes, deux niveaux sont analogues quand ils ont même spin, parité, des énergies d'excitation voisines et des modes de désexcitation similaires. L'existence de ces niveaux analogues et l'abondance de nos résultats expérimentaux nous ont conduits à analyser, dans le cadre des modèles de Kisslinger-Sorensen et d'Alaga, non seulement les niveaux de basse énergie mais également ceux de moyenne et haute énergie.

Le modèle de Kisslinger-Sorensen décrit les noyaux d'or impairs en couplant un quasi-proton (occupant les sous-couches  $3s_{1/2}$ ,  $2d_{3/2}$ ,  $2d_{5/2}$ ,  $1g_{7/2}$  ou  $1h_{11/2}$ ) aux vibrations quadrupolaires à 0, 1, 2 ou 3 phonons des noyaux paires-paires voisins. La comparaison des prévisions théoriques de ce modèle et des données expérimentales révèle un accord relativement satisfaisant pour les énergies d'excitation des 22 niveaux analogues d'or 193 et 195 (écart moyen en énergie de 180 keV). De même, les probabilités de transition réduites  $B(M1)$  et  $B(E2)$  théoriques sont voisines des valeurs expérimentales (Fig. 2 et réf. [5]). Cependant, les moments dipolaire magnétique et quadrupolaire électrique, prévus par ce modèle pour les noyaux d'or 193 à 199 dans leur état fondamental, sont en désaccord systématique avec les valeurs expérimentales :

$$\langle \mu_{3/2} \rangle_{\text{exp.}} = 0,14 \leftrightarrow \langle \mu_{3/2} \rangle_{\text{K.S.}} = 0,65 \mu_N$$

$$\langle Q_{3/2} \rangle_{\text{exp.}} = Q_{3/2}(^{197}\text{Au}) = 0,58 \pm 0,01$$

$$\leftrightarrow \langle Q_{3/2} \rangle_{\text{K.S.}} = 0,90 \text{ eb.}$$

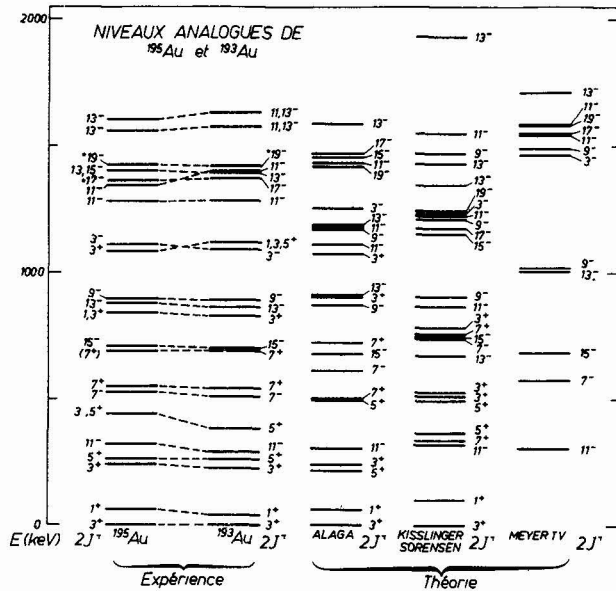


FIG. 1. — Comparaison des niveaux analogues expérimentaux d'or 193 et 195 aux niveaux théoriques calculés dans les modèles d'Alaga [8, 9] et de Kisslinger-Sorensen [5] avec les valeurs suivantes des énergies  $\varepsilon$  de particules indépendantes, de l'intensité  $G$  de la force d'appariement, de l'énergie de vibration quadrupolaire  $\hbar\omega$  et du paramètre de couplage  $a$  (en MeV) : Modèle d'Alaga :  $\varepsilon_{1/2} = 0$ ,  $\varepsilon_{3/2} = 0,20$ ,  $\varepsilon_{5/2} = 1,00$ ,  $\varepsilon_{7/2} = 3,50$ ,  $\varepsilon_{11/2} = 1,34$ ,  $G = 0,12$  (niveaux de parité positive) ou  $0,11$  (niveaux de parité négative),  $\hbar\omega = 0,50$ ,  $a = 0,40$ . Modèle de Kisslinger-Sorensen :  $\varepsilon_{1/2} = 0$ ,  $\varepsilon_{3/2} = 0,33$ ,  $\varepsilon_{5/2} = 2,22$ ,  $\varepsilon_{7/2} = 3,00$ ,  $\varepsilon_{11/2} = 0,89$ ,  $G = 0,12$ ,  $\hbar\omega = 0,42$ ,  $a = 0,40$ . Les niveaux théoriques du modèle à rotor rigide asymétrique sont ceux de Meyer-ter-Vehn, Stephens et Diamond [12]. Les niveaux expérimentaux d'or 193 et 195 ont été établis dans des mesures de radioactivité [4, 5]. Ceux marqués d'un astérisque ont été obtenus dans des mesures de réactions par  $^4\text{He}$  et  $^7\text{Li}$  [16, 17].

D'autre part, certains niveaux de basse et moyenne énergie ne sont décrits qu'imparfaitement (niveaux  $3/2_2^+$ ,  $5/2_2^+$ ,  $7/2_1^+$ ,  $15/2_1^-$  voir Fig. 1). Enfin, ce modèle, qui néglige les états à trois quasi-protons, ne prévoit pas la forte densité de niveaux observée expérimentalement dans l'or 193 entre 1,6 et 2,2 MeV.

Le modèle d'Alaga décrit de façon plus satisfaisante les noyaux d'or impairs en couplant trois trous de protons à des vibrations quadrupolaires. En effet, l'écart moyen entre les énergies théoriques et expérimentales des 22 niveaux analogues d'or 193 et 195 est de 88 keV. Les probabilités réduites  $B(M1)$ ,  $B(E2)$  et les moments statiques, prévus par ce modèle pour les niveaux de parité positive, sont proches des valeurs expérimentales

$$\langle \mu_{3/2} \rangle_{\text{Al}} = 0,18 \mu_N \quad \langle Q_{3/2} \rangle_{\text{Al}} = 0,39 \text{ eb}$$

et  $B(\sigma L)$  de la figure 2 (cf. [7, 8]). Pour les états de parité négative identifiés aux niveaux de la bande yrast construite sur la configuration  $1h_{11/2}$ , les données expérimentales et les valeurs théoriques correspondantes sont en accord satisfaisant :

$$\begin{aligned} B(E2 \ 7/2_1^- \rightarrow 11/2_1^- ; ^{193}\text{Au})_{\text{exp.}} &= \\ &= 0,31 \pm 0,04 [10] \leftrightarrow B(E2 \ 7/2_1^- \rightarrow 11/2_1^-)_{\text{Al.}} = \\ &= 0,11(\text{eb})^2. \end{aligned}$$

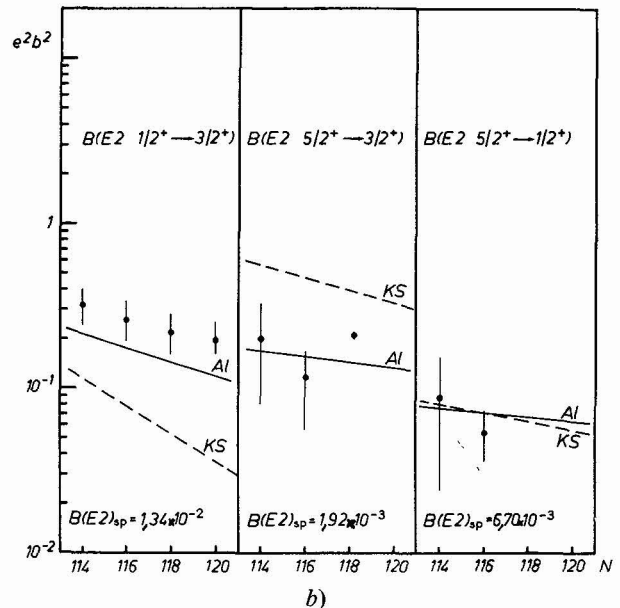
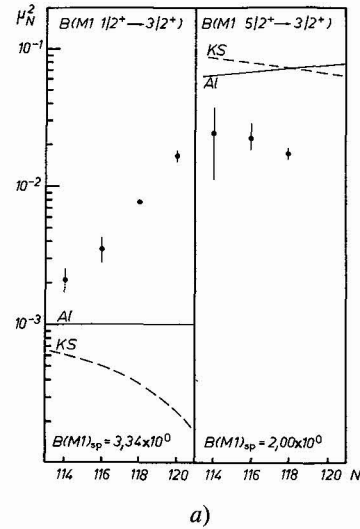


FIG. 2. — Comparaison, dans les isotopes d'or impairs 193 à 199, des probabilités réduites expérimentales  $B(M1)$  et  $B(E2)$  et des probabilités réduites théoriques calculées dans les modèles d'Alaga, de Kisslinger-Sorensen et dans le modèle à particule indépendante.

Enfin, la densité de niveaux théorique rend compte non seulement de la densité expérimentale observée jusqu'à 2,2 MeV dans l'or 193, mais s'accorde également avec la distribution de Gilbert-Cameron (modèle statistique) décrivant les données expérimentales obtenues par résonances neutroniques des noyaux d'or [11]. Toutefois, l'existence dans les isotopes d'or impairs 189 à 195 d'un niveau  $9/2^-$  dont les transitions de désexcitation sont très retardées ( $F^W \simeq 2 \times 10^4$  [12]) ne peut être qu'imparfaitement expliquée dans l'état actuel de ce modèle. Ce niveau  $9/2^-$  est à 789,90 keV dans l'or 193 et à 1 068,0 keV dans l'or 195 [4, 5]. C'est l'élément de base d'un système de niveaux représenté dans l'or 193 par l'état  $7/2$ ,  $9/2$  ou  $11/2^-$  à 1 131,81 keV et l'état  $9/2$ ,  $11/2$  ou  $13/2^-$  à 1 194,26 keV. Dans l'or 195, ces états apparaissent à 1 406,2 keV ( $9/2$ ,  $11/2$  ou  $13/2^-$ ) et 1 487,0 keV

( $9/2$ ,  $11/2$  ou  $13/2^-$ ). Si les analogies de ces deux systèmes de niveaux sont confirmées, les variations de leurs énergies d'excitation avec le nombre de neutrons, plus importantes que celles observées pour les autres niveaux analogues, suggéreraient l'introduction d'une force résiduelle supplémentaire (par exemple octupole-octupole [13]) dans ces calculs théoriques.

*Le modèle particule-rotor dissymétrique* développé par Meyer-ter-Vehn [14, 15] décrit les niveaux d'or 195 de parité négative comme résultant du couplage d'un trou de proton dans la couche  $1h_{11/2}$  avec un rotor rigide triaxial. L'analyse des prévisions de ce modèle montre que l'écart moyen entre les énergies théoriques et expérimentales des 11 niveaux analogues d'or 193 et 195 de parité négative est de 165 keV. En ce qui concerne les propriétés électromagnétiques, seuls les moments statiques de l'état isomérique  $11/2^-$  ont été calculés, des estimations étant proposées pour les intensités relatives des transitions  $\gamma$  à l'intérieur d'une quasi-bande ou entre différentes quasi-bandes. Le niveau  $9/2^-$  à transitions retardées et ses états associés ne sont pas prévus dans ces calculs basés sur la configuration  $1h_{11/2}$ . Une tentative d'interprétation de ces niveaux fait intervenir la configuration  $1h_{9/2}$  [12, 15].

Cependant, même si l'on admet l'existence d'un système de niveaux basé sur cette configuration, le modèle à rotor rigide ne peut interpréter qu'une faible partie des 42 niveaux de parité négative mis en évidence entre 1,1 et 2,2 MeV dans l'or 193. Enfin, aucun calcul théorique, permettant l'analyse des niveaux d'or impairs de parité positive, n'a été effectué à l'aide de modèles particule-rotor asymétrique ou symétrique.

**4. Conclusions.** — Le modèle d'Alaga donne actuellement la description la plus complète et la plus satisfaisante des niveaux d'or 193 et 195. D'autre part, les données expérimentales à notre disposition soit dans les isotopes d'or plus lourds ( $A = 197$  et  $199$ ), soit dans les isotopes d'or plus légers ( $A = 189$  et  $191$ ), montrent que ce modèle peut leur être appliqué avec le même succès. Toutefois, il serait intéressant de disposer, dans le cadre de modèles rotationnels, de calculs plus complets et détaillés en vue de rechercher leur domaine de validité.

**Remerciements.** — Nous sommes très reconnaissants au Pr G. Alaga et au Dr V. Paar pour leurs encouragements et l'aide précieuse dans la réalisation de ce travail.

### Bibliographie

- [1] DE SHALIT, A., *Phys. Lett.* **15** (1965) 70.
- [2] MC GOWAN, F. K., MILNER, W. T., ROBINSON, R. L. et STELSON, P. H., *Ann. Phys.* **63** (1971) 549.
- [3] FOGELBERG, B., BÄCKLIN, A., BERG, V. et MALMSKOG, S. G., *Nucl. Phys. A* **153** (1970) 301.
- [4] VIEU, Ch., PEGHAIRE, A. et DIONISIO, J. S., *Revue Phys. Appl.* **8** (1973) 231.
- [5] VIEU, Ch., Thèse, Orsay 1974.
- [6] VIEU, Ch., LIANG, C. F. et DIONISIO, J. S., à paraître.
- [7] VIEU, Ch. et DIONISIO, J. S., *Proc. Inter. Conf. on Nuclear Structure and Spectroscopy*, Amsterdam 1974, ed. H. P. Blok et A. E. L. Dieperink Vol. I, 118.
- [8] VIEU, Ch. et DIONISIO, J. S., *Proc. of the Topical Conf. on Problems of vibrational nuclei* (Zagreb), ed. G. Alaga, V. Paar et L. Sips, vol. II, 1974.
- [9] PAAR, V., VIEU, Ch. et DIONISIO, J. S., à paraître.
- [10] BÄCKLIN, A., BERG, V. et MALMSKOG, S. G., *Nucl. Phys. A* **156** (1970) 647.
- [11] DE WIECLAWIK, W., VIEU, Ch. et DIONISIO, J. S., *XXV National Conf. on Nuclear Spectroscopy and Structure of the Atomic Nucleus*, Leningrad 1975, à paraître.
- [12] BERG, V., BOURGEOIS, C. et FOUCHER, R., *J. Physique* **36** (1975) 23.
- [13] PAAR, V., Communication privée.
- [14] MEYER-TER-VEHN, J., STEPHENS, F. S. et DIAMOND, R. M., *Phys. Rev. Lett.* **32** (1974) 1383.
- [15] MEYER-TER-VEHN, J., *Phys. Lett.* **55B** (1975) 273.
- [16] TJØM, P. O., MAIER, M. R., BENSON Jr, D., STEPHENS, F. S. et DIAMOND, R. M., *Nucl. Phys. A* **231** (1974) 397.
- [17] STEPHENS, F. S., DIAMOND, R. M., BENSON, D. et MAIER, M. R., *Phys. Rev. C* **7** (1973) 2163.